

高速道路トンネルの覆工に生じるひび割れと坑内環境に関する考察

中日本ハイウェイ・エンジニアリング 東京（株）
中日本ハイウェイ・エンジニアリング 東京（株）
中日本高速道路（株）

土木技術部
八王子道路事務所
金沢支社

正会員 ○笹本 直之
平野 紘司
中島 賢治

1. はじめに

トンネルの変状対策は、外力の場合は補強、外力以外の場合は補修を選択することが一般的である。覆工の天端縦断方向にひび割れが生じた場合、外力か否かを判断することは難しく、進行性で判断する場合が多い。今回、新東名高速道路のトンネルについて、供用前後の覆工コンクリートのひび割れ発生状況から、坑内環境が影響している可能性をデータで示し考察する。対象は、表-1 の経歴を有する静岡県下の全長 3,000m 超の長大 3 車線大断面で、上下線が並走する 2 本である。

最初に「ひび割れ発生率」および「入口側」、「出口側」を定義し、上下線の入口側と出口側のひび割れ発生率について交通の影響による温度と湿度および風速のデータを示し、考察を加えた。

2. 「ひび割れ発生率」、「入口側・出口側」の定義

考察を行うにあたり、言葉の定義を以下とする。「ひび割れ発生率」は、天端縦断方向に入るひび割れが、スパンの延長の半分以上発生しているスパンの割合（ひび割れが発生しているスパン数/対象スパン数）を示す。例えば、図-1 は 10 スパンの内 3 スパンが該当し、ひび割れ発生率は 30% となる。

「入口側」と「出口側」は、図-2 のようにトンネルの全長を二分割して、車両進入側を「入口側」、車両進出側を「出口側」とする。このため、並走する上下線の場合、入口側は上下で反対側となる。つまり、対象トンネルの「入口側」は、上り線が名古屋側、下り線は東京側になる。なお、覆工に補強筋が入っているスパンは鉄筋の拘束力でひび割れがほとんど入っていないことから対象外とした。

3. 供用前後のひび割れ発生率の変化と坑内環境

図-3 に供用前後の点検時のひび割れ発生率を示す。ここから次のことが分かる。

- ① 供用前の初期点検では 9%～34% である
- ② 供用後の詳細点検では 43～96% である
- ③ 初期点検より詳細点検の方が、ひび割れ発生率が高く 27～72% 増加した
- ④ 初期点検は入口側と出口側に明確な差がないが、詳細点検は出口側の方が高い

これらから、ひび割れ発生率が「初期点検より詳細点検」で、また「詳細点検は出口側」で急増した理由として、地質・地理的要因による外力よりも坑内環境の変化の影響が高いと考えた。具体には、車両交通の影響だと推察した。これは、打設後 4～8 年経過した初期点検のひび割れ発生率よりも、初期点検から供用後を含む 5 年経過した詳細点検の方が、上昇率が高いためである。

表-1 対象トンネル特記事項の年表

年	特記事項
2003年頃	上り線入口側覆工コンクリート打設
2004年	下り線切羽貫通
2006年	上り線切羽貫通
2007年頃	上り線出口側覆工コンクリート打設
2011年	初期点検実施
2012年	新東名静岡県区間162km供用開始
2016年	詳細点検実施

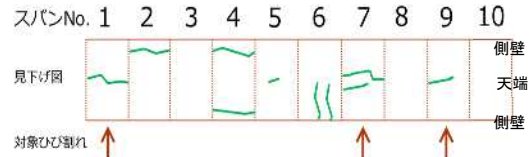


図-1 「ひび割れ発生率」の考え方



図-2 「入口側」「出口側」の考え方

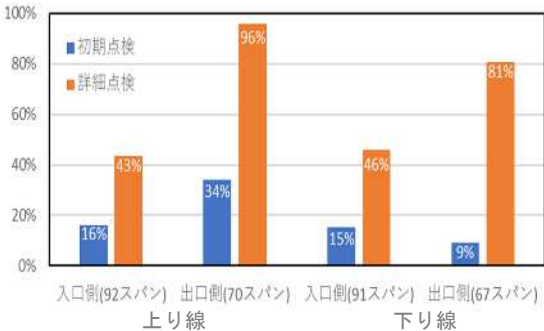


図-3 供用前後のひび割れ発生率

キーワード：山岳トンネル、覆工コンクリート、ひび割れ、坑内環境、乾燥収縮、交通換気力
連絡先：〒160-0023 東京都新宿区西新宿 1-23-7 中日本ハイウェイ・エンジニアリング 東京(株) TEL:03-5339-1721

4. 覆工強度および坑内環境のデータ

車両交通の影響と考える3つのデータを示す.

(1) 入口側と出口側の覆工コンクリートの圧縮強度

表-2に上り線覆工コンクリートの圧縮強度を示す.ここから次のことが分かる.

- ① 圧縮強度は設計基準強度 (30N/mm²) の 1.46~2.11 倍である
 - ② 打設年の古い入口側の 82 スパン目の方が出口側の 361 スパン目より圧縮強度が高い
 - ③ 同スパンの天端と側壁の差はスパンの差よりも小さい
- (2) 供用後の坑内平均温湿度

表-3に供用後の2017年7月~2018年6月の1年間の坑内平均気温, 平均相対湿度を示す. また, 最寄りの静岡市(気象庁データ)の同時期のデータも示す. なお, 対象トンネルの標高は約200m, 静岡市(気象庁データ)は約10mである. ここから次のことが分かる.

- ① 入口側の82スパン目よりも出口側の361スパン目の方が, 平均気温が3.7℃高く, 平均湿度が6.8%低い
 - ② 静岡市(気象庁データ)は入口側の82スパン目の値に近い.
- (3) 坑内の風速

表-4に供用後の上り線と静岡市(気象庁)の風速データを示す. 坑内風速が平均4m/秒と高いのは約2.8万台/日の交通量により, 交通換気力が発生するためである. また, 上り線は集塵機が2基あり, 稼働時の集塵機吹き出し口の風速は9m/秒になる. この集塵機は2012~2017年の稼働が約6.5時間/日であった.

5. 考察

供用前は外気温と坑内の温度差が生じた時に, 図-4のように結露が確認されている. 覆工面が結露により湿潤状態となった時は, 乾燥収縮を防ぎ強度が増加したと考えられる. このことは, 天端と側壁の強度差が少ないことや打設時期が古い入口側の強度が高いこととも整合する. 供用後は交通車両による交通換気力が発生し, 乾燥しやすい環境に変わりひび割れ発生が促進された¹⁾.

また, 車の排熱により出口側に向かうほど気温が上がり, 相対湿度が下がった. さらに, 上り線は出口側の集塵機が稼働し, 風速が一時的に増加した可能性があることも確認できた. このことが, 供用前よりも供用後の方が, 入口側よりも出口側の方が, 下り線よりも上り線の方が, ひび割れ発生率が高くなる原因と考える. 以上から, 覆工の縦横比の関係から, 天端縦断方向に乾燥収縮によるひび割れが発生した可能性が高いと結論した.

6. おわりに

天端縦断方向のひび割れは, 外力による変状の可能性が考えられるため, 多くの調査を要する場合がある. その場合, 状況証拠を積み重ねることと, 現地ではひび割れの進行状況を把握することが重要である. 今回のデータは, ひび割れ発生が外力かそれ以外の要因によるものかを推察するために役立つと考えられる.

ひび割れの発生について分析する要素として挙げられるのは, 覆工厚, 施工時期, 配合, 繊維補強コンクリート種別, トンネル延長, 交通量やなどが考えられる. 今後, これら多くのデータを持つ維持管理会社ならではの視点での分析と, 5年間隔で実施する詳細点検による進行状況の把握により, 外力によるものかそれ以外の要因かを見定めて管理を行っていききたい.

参考文献 1)中村ら:コンクリート中の湿気移動解析に関する研究,土木学会第59回年次学術講演会,2004

表-2 上り線覆工コンクリートの圧縮強度

位置			a 圧縮強度 (N/mm ²)	b 設計基準強度 (N/mm ²)	a/b	推定打設年
入口側・出口側	入口側坑口からの距離	天端・側壁				
入口側	約900m (82スパン目)	天端	63.4	30	2.11	2003年
		側壁	57.3		1.91	
出口側	約4,300m (361スパン目)	天端	48.2		1.61	2007年
		側壁	43.8		1.46	

※打設年は打設工程表から推定した

表-3 供用後の坑内平均温湿度

位置		平均気温 (°C)	平均相対湿度 (%)
入口側・出口側	入口側坑口からの距離		
入口側	約900m (82スパン目)	15.8	61.5
	約4,300m (361スパン目)	19.5	54.7
静岡市(気象庁データ)		17.1	64.5

表-4 上り線の風速データ

集塵機停止時の坑内風速	4m/s
静岡市(気象庁データ)平均風速	2.3m/s
集塵機吹き出し口の風速	9m/s
集塵機の日平均稼働時間	約6.5h/day



図-4 供用前の結露状況(別トンネル)